

Raimo Autio

Lämpökuvaus Suomenlinnan restaurointityön apuna

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Rakennusmestari (AMK)
Rakennusalan työnjohto
Mestarityö
25.10.2012

Tekijä Otsikko	Raimo Autio Lämpökuvaus Suomenlinnan restaurointityön apuna
Sivumäärä Aika	33 sivua + 2 liitettä 25.10.2012
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennusalan työnjohto
Ohjaaja	Lehtori Tapani Järvenpää, Metropolia Arkkitehti Petri Mikonsaari, Suomenlinnan hoitokunta
<p>Opinnäytetyön aiheena selvitettiin, kuinka lämpökuvausta voidaan hyödyntää Suomenlinnan rakennusten restaurointitöissä ja yleensäkin korjausrakentamisessa. Tutkimuskohteina olivat lämpövuodot Suomenlinnan hoitokunnan hallinnoimissa asuinhuoneistoissa. Lisäksi opinnäytetyössä pohdittiin, miten lämpökuvausta voitaisiin hyödyntää kosteusvaurioiden tutkimisessa ja esimerkiksi rappausten kunnan arvioinnissa. Opinnäytetyöhön kuului käytännön esimerkkikohteina neljän eri asuinrakennuksen huoneistoja. Lämpökuvaus suoritettiin kahtena eri kuvauspäivänä. Opinnäytetyössä selostettiin lämpökuvauksen yleisiä periaatteita.</p> <p>Suomenlinnan hoitokunnan käyttöön luovutettiin harjoituskohteista erillinen lämpökuvausraportti, jota voidaan hyödyntää opinnäytetyön ohella tulevaisuudessa eri restaurointikohdeiden lämpökuvausta harkitessa.</p>	
Avainsanat	lämpökuvaus, restaurointi, Suomenlinna

Author Title	Raimo Autio Thermal Imaging in Restoration of Suomenlinna
Number of Pages Date	33 pages + 2 appendices 25 October 2012
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Civil Engineering & Building Services
Specialisation option	Construction Site Management
Instructors	Tapani Järvenpää, Senior Lecturer, Metropolia Petri Mikonsaari, Architect, The Government Body of Suomenlinna
<p>The topic of this thesis was to find out, how thermal imaging can be used in building restoration works in Suomenlinna. Subjects of survey were some apartments ruled by the Governing Body of Suomenlinna suffering from thermal leaks. In addition, the study considers in theory, how to use thermal imaging in surveying moisture problems and for example in investigation of loose render on the walls of buildings. As a practical part in the thesis, thermal imaging was used in some apartments in four different buildings. The thermal imaging was performed on two days.</p> <p>In the beginning of the thesis, the principles of the thermal imaging are explained.</p> <p>The thermal imaging report was handed over to The Governing Body of Suomenlinna. It can be utilized when planning the use of thermal imaging in future restoration works.</p>	
Keywords	thermal imaging, restoration, Suomenlinna

Sisälllys

Tiivistelmä

Abstract

Käsitteistö

1	Johdanto	1
1.1	Taustatiedot	1
1.2	Ongelmat	1
1.3	Tavoite ja opinnäytetyön rajaus	1
2	Suomenlinna	1
3	Lämpökuvaus	2
3.1	Yleistä	2
3.2	Infrapunasäteily ja lämpökamera	2
4	Lämpöihtiivyyys ja korjausluokat	3
4.1	Lämpöihtiivyyteen vaikuttavat tekijät	3
4.2	Lämpötilaindeksi ja korjausluokat	4
5	Lämpökuvaus rakentamisessa	5
5.1	Puutteellinen eristys ja ilmavuodot	5
5.2	Kosteusvaurioiden lämpökuvaus	6
5.3	Sisäilmaston kuntotutkimus	7
5.4	Sähkölaitteet ja LVI	8
5.5	Laadunvalvonta rakentamisen aikana	8
5.6	Lämpökuvaus restaurointityössä ja korjausrakentamisessa	9
6	Lämpökuvauksen suorittaminen	9
7	Lämpökuvien tulkinta	13
8	Lämpökuvaus Suomenlinnassa	14
9	Kohteet	15
9.1	Aliupseeritalo C 58	15

9.2	Kurikomppania A 3	15
9.3	Rakennus B 17	16
9.4	Rakennus C 49	16
10	Lämpökuvauispäivä 16.2.2012	16
10.1	Aliupseeritalo C 58 (asuinhuoneisto C 20)	17
10.2	Aliupseeritalo C 58 (asuinhuoneisto C 19)	18
10.3	Aliupseeritalo C 58 (asuinhuoneisto B 13)	19
10.4	Kurikomppania A 3 As 1	20
10.5	Kurikomppania A 3 As 2	21
10.6	Kurikomppania A 3 As 3	22
10.7	Kurikomppania A 3 As 4	22
11	Lämpökuvauispäivä 7.3.2012	23
11.1	Rakennus B 17 (asuinhuoneistot 4 ja 6)	24
11.2	Rakennus C 49 (asunto B)	25
11.3	Aliupseeritalo C 58 (asunnot A 3, B 9, C 15 ja C 18 sekä rakennuksen julkisivut)	27
12	Johtopäätökset	31
13	Yhteenveto	32

Lähteet

Liitteet

Liite 1. Mittausraportti-malli

Liite 2. Pohjakuva-malli

Käsitteistö

Lämpökuvauus

Lämpökuvauksella tarkoitetaan pinnan lämpötilajakauman määrittämistä ja kuvaamista mittaamalla pinnan infrapunasäteily ja tulkitsemalla lämpökuva.

Lämpökamera

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn, infrapunasäteilyn, voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaalisesti.

Emissiivisyys

Pinnan kyky lähettää lämpösäteilyä. Emissiivisyysluku, emissiviteetti, kertoo kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää omaa energiaa. Lämpökuvauksessa käytetty materiaalien emissiivisyysluku vaihtelee arvon 0–1 välissä ja se ilmoitetaan desimaalilukuna. Käytetty emissiivisyys on esitettävä mittausraportissa.

Oleskeluvyöhyke

Huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.

Huoneilman lämpötila

Ilman lämpötila mitattuna mistä tahansa oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta.

Pistemäinen lämpötila

Pistemäinen pintalämpötila on muualla kuin oleskeluvyöhykkeellä mitattu paikallinen pintalämpötila.

Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyyden kokeminen ja lämpöviihtyvyyden puutteiden aiheuttamat terveydelliset vaikutukset ovat yksilöllisiä ja riippuvat monesta tekijästä, kuten sisäilmaolosuhteista, ihmisen terveydentilasta, iästä, herkistymisestä, altistusajasta sekä psykologisista tekijöistä. Sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän lisäksi mm. vaipan ilmavuodot ja pintojen lämpötilat.

Tiiviysmittaus

Rakennuksen ulkovaipan ilmavuotoluvun n_{50} määrittäminen 50 Pa alipaineessa (tai ilmavuotokohtien etsiminen muussa, käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa). Suomessa ei tällä hetkellä ole lukuarvollisia viranomaismääräyksiä rakennusten ilmanpitävyydestä. [1.]

1 Johdanto

1.1 Taustatiedot

Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, kuinka lämpökuvausta voitaisiin hyödyntää Suomenlinnan restaurointitöissä. Opinnäytetyöhön liittyen tehtiin lämpökuvausta neljän eri asuinrakennuksen huoneistoissa. Lämpökuvauksen mahdollisuuksia ja rajoituksia käydään läpi näiden esimerkkikohteiden avulla. Opinnäytetyön aluksi selostetaan lämpökuvauksen yleisiä periaatteita.

1.2 Ongelmat

Suomenlinnan hoitokunta hallinnoi noin 350 asuntoa, joista osassa on havaittu sisäilmaongelmia, kosteusvaurioita ja lämpö- ja ilmavuotoja. Suuri osa Suomenlinnan rakennuskannasta on peräisin 1700–1800-luvuilta, jonka vuoksi nykypäivän rakentamismormit on osin vaikeasti sovitettavissa vanhoihin rakenteisiin restauroinnin yhteydessä. Esimerkiksi lämpövuodot voivat heikentää asumisviihtyvyyttä.

1.3 Tavoite ja opinnäytetyön rajaus

Opinnäytetyön harjoituskohteet lämpökuvattiin talvella helmi-maaliskuussa 2012, joten kosteusvaurioiden tutkiminen ei ollut kylmän vuodenajan ja ajanpuutteen vuoksi mahdollista. Tavoitteena oli kuitenkin selvittää lämpökuvaukseen perehtymättömälle myös teoriassa, mitä lämpökuvauksella on mahdollista tehdä ja mitkä ovat sen rajoitukset.

2 Suomenlinna

Helsingin edustalla sijaitseva Suomenlinna on Ruotsin vallan aikainen merilinnoitus ja saaristolaivaston tukikohta. Linnoitus, jonka rakentaminen aloitettiin 1700-luvun puolivälissä, on UNESCO:n maailmanperintökohde ja yksi Suomen suosituimpia nähtävyyksiä. Suomenlinna on myös Helsingin kaupunginosa, jossa asuu yli 800 vakituista asukasta. [2.]

Suomenlinna kuuluu Suomen valtiolle, ja sitä hallinnoi opetus- ja kulttuuriministeriön alainen virasto, Suomenlinnan hoitokunta. Vanhat linnoituslaitteet ovat hyötykäytössä asuntoina, työhuoneina, huoltotiloina ja yleisön palvelupisteinä. Rakennuksia kunnostetaan jatkuvasti. [2.]

3 Lämpökuvaus

Tässä luvussa käsitellään lämpökuvausta teoriassa ja kerrotaan, kuinka lämpökamera toimii.

3.1 Yleistä

Kaupallisia lämpökameroita on ollut markkinoilla jo 1970-luvulta lähtien. 2000-luvulla markkinoille on tullut yhä tehokkaampia ja helppokäyttöisempiä laitteita ja lämpökamerat ovatkin nykyään pieniä, normaalin video- tai valokuvakameran kokoisia. Rakennusteollisuus on ottanut käyttöönsä lämpökuvauksen tehokkaana valvontatyökaluna.

Lämpökamera on ainutlaatuisen tehokas laite esimerkiksi rakennusten lämpövuotojen kartoitukseen. Lämpökameran tuottama tieto on tarkkaa dokumentaatiota vioista ja puutteista. Lämpökuvaus nopeuttaa tiedon hankintaa ja on siten myös kustannustehokasta. Restaurointityössä ja eritoten arvokkaissa kohteissa hyödynnettynä lämpökuvauksen etu on siinä, että sillä pääsee tutkimaan rakenteita niitä rikkomatta. Lämpökamera mahdollistaa pinnan lämpötilaerojen jakautumisen tarkastelun tarkasti ja nopeasti.

3.2 Infrapunasäteily ja lämpökamera

Ihmisen silmät vastaanottavat elektromagneettisen säteilyn spektristä vain pienen osan. Infrapunasäteily sijoittuu tämän kaistaleen ulkopuolelle. Lämpökameran tehtävä on tallentaa infrapunasäteilyn voimakkuutta ja muokata siitä ihmisen silmille näkyvä kuva.

Infrapunasäteily sijaitsee spektrissä näkyvän valon ja mikroaaltojen välissä. Lämpösäteily on infrapunasäteilyn pääasiallinen lähde. Esimerkiksi auringonlämpö ja erilais-

ten lämmittimien aikaansaama lämmöntunne iholla on käytännössä infrapunasäteilyä. Mitä kuumempi kohteen pinta on, sitä enemmän se säteilee.

Lämpökameran optiikka kerää infrapunasäteilyä kameran infrapunailmaisimeen ja ilmaisimien lähettää tiedon tunnistinelektronikalle kuvankäsittelyyn. Elektroniikka muokkaa kuvan katseltavaksi näytöltä. Itse asiassa jokainen pikseli näkyvässä kuvassa on kyseisen pinnan kohdan lämpötilan indikaattori. Lämpökameroiden resoluutio voi tänä päivänä vaihdella 60 x 60 pikselistä aina 640 x 480 pikseliin. Korkeamman resoluution lämpökameralla voidaan kuvata kauempaa tarkasti, ja se mahdollistaa laajemman kuvausalueen kerralla.

Lämpökameroiden herkkyys eli kyky erotella lämpötilaeroja on tänä päivänä niinkin pieni kuin 0,03 °C. Tarkka erottelukyky on tärkeä ominaisuus rakennusten lämpökuvauksessa, jossa erot ovat yleensä pieniä. Virhemarginaali lämpökameroissa on laitteesta riippuen $\pm 1 \dots \pm 2$ °C. [3.]

Lämpökameralla voidaan siis määrittää nopeasti suurien pintojen pintalämpötilajakauma. Lämpökuvauksen aineetta rikkomattomana optisena mittausmenetelmänä sisältää kuitenkin virhelähteitä, mikäli kaikkia tuloksen vaikuttavia tekijöitä ei tunneta, ei oteta huomioon tai ei kyetä poistamaan. [4.]

4 Lämpöviihtyvyys ja korjausluokat

4.1 Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat tekijät

Ihmisen kokema lämpöaistimus perustuu kolmeen tekijään ja/tai niiden yhteisvaikutukseen. Nämä ovat ilman lämpötila, ilman liike ja säteilylämpötila. Näihin oleskelutiloissa vallitseviin tekijöihin puolestaan vaikuttavat useat eri rakennuksen ja sen talotekniikan tekijät, joita ovat lämmitysjärjestelmä, ilmanvaihto ja rakennuksen vaippa. Rakennuksen sisäpintalämpötiloihin vaikuttavat useat rakenteelliset ja toiminnalliset tekijät, joita on mm. eristystaso, tuulensuojan kunto, höyrynsulun tiiviys, lämmitysjärjestelmän toiminta ja sisätilojen kosteuskuormitus.

Näin ollen alentunut lämpöviihtyvyys on aina usean tekijän summa, johon vaikuttavat paikallinen eristystaso, ikkunapinta-ala, rakenteiden tiiviys, ilmanvaihtojärjestelmä, lämmitysjärjestelmä ja sisäiset kuormat (valaistus, sähkölaitteet jne.). [4.]

Oleskeluvyöhykkeellä tarkoitetaan huoneen osaa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista. Siten esimerkiksi seinäpinnan hieman alhaisempi lämpötila ei vielä tarkoita, että huoneiston lämpöviihtyvyys olisi huono.

4.2 Lämpötilaindeksi ja korjausluokat

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Lämpötilaindeksiä käytetään silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä vakioolosuhteissa ($-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$:n ulkolämpötilassa ja $+20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$:n sisälämpötilassa). [4.]

Lämpötilaindeksi annetaan prosentoin tarkkuudella ja se määritellään seuraavasti [4.]:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 \%$$

TI = lämpötilaindeksi, %

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C

T_i = sisäilman lämpötila, °C

T_o = ulkoilman lämpötila, °C

Lämpökuvausraportissa olevat korjausluokat määritellään seuraavasti [4]:

1. Korjattava

- Pinnan lämpötila ei täytä sosiaali- ja terveysministeriön laatiman Asumisterveysohjeen välttävää tasoa. Heikentää oleellisesti rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa ($TI < 61\%$).

2. Korjaustarve selvitettävä

- Korjaustarve on erikseen harkittava. Täyttää Asumisterveysohjeen välttävän tason, mutta ei täytä hyvää tasoa ($TI\ 61\text{--}65\%$).

3. Lisätutkimuksia

- Täyttää asumisterveydelle asetetut hyvän tason vaatimukset, mutta piilee tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen kosteus- ja lämpötekni- sen toiminnan riski. On tarkasteltava rakenteen kosteustekninen toiminta tai tehtävä muita lisätutkimuksia, kuten esimerkiksi kosteusmittaus tai tiiviysmittaus ($TI > 65\%$).

4. Hyvä

- Täyttää hyvän tason vaatimukset. Ei korjaustoimenpiteitä ($TI > 70\%$).

5 Lämpökuvaus rakentamisessa

Lämpökuvaus mahdollistaa vaurioiden havaitsemisen ajoissa ja niiden dokumentoinnin ja korjauksen ennen kuin vauriot pahenevat. Lämpökuvaus on erinomainen apu kuntoarvion ja/tai -tutkimuksen tekemisessä. Lämpökuvaus paljastaa lämpövuodot, kylmäsil- lat ja mahdollisen puutteellisen eristyksen. Lämpökuvauksella on mahdollista havaita ilmapuodot ja haitalliset kosteusvauriot ulko- ja sisäpinnoilla ja rakenteissa. Lisäksi esi- merkiksi lämpöputkien ja sähkölaitteiden kunnon tarkastelu on helppoa lämpökuvauk- sen avulla. Eri rakennusmateriaalien kuivumisprosessia voidaan seurata lämpökameral- la ja rakentamisvaiheessa valvonnan työkaluna lämpökuvauksella voidaan paljastaa mahdollisia rakennusvirheitä.

Rakennuksen ulkoseinien sekä lattian ja katon liitoskohtien pintalämpötiloihin vaikutta- vat rakenteiden ja niiden kunnon lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmitysjärjestel- män toiminta sekä sääolosuhteet, kuten ulkolämpötila, ulko- ja sisälämpötilan erotus, auringonpaiste, tuuli ja lämpötilojen muutokset. Lisäksi siihen vaikuttavat sisäiset kuormat, kuten valaistus. Kaikki tämä on otettava huomioon lämpökuvausta suorittaes- sa.

5.1 Puutteellinen eristys ja ilmapuodot

Rakennusten ilmapuodot kuluttavat energiaa ja aiheuttavat ongelmia mm. koneellisen ilmanvaihdon säätämiseksi. Ilmapuodot voivat aiheuttaa vesihöyryn kondensoitumista kylmien rakenteiden pintoihin, mikä voi johtaa myöhemmin erilaisiin sisäilman ongel-

miin. Ilmavuotojen havainnointi lämpökuvauksella vaatii ulko- ja sisäilman lämpötila- ja paine-eron. Sisätilaan voidaan esim. keinotekoisesti muodostaa ali- tai ylipainetta niin sanotulla BlowerDoor-menetelmällä, joka aiheuttaa suuremman paineen vuotokohtiin rakenteissa.

Kylmänä vuodenaikana ulko- ja sisätilojen välisestä lämpötilaerosta aiheutuu luonnollisesti savupiippuvaikutuksesta rakennuksen yläosaan ylipainetta ja alaosiin alipainetta. Savupiippuvaikutuksesta aiheutuvaan paine-eroon vaikuttavat rakennuksen korkeus sekä ulkoilman ja sisäilman lämpötilaero. Savupiippuilmio tarkoittaa ilman kerrostumista lämpötilojen mukaan: lämmin ilma kevyimpänä nousee ylöspäin. [4.]

Eryteisesti katto- ja yläpohjarakenteita kuvattaessa onkin aina otettava huomioon painesuhteet. Kattorakenne voi olla ylipaineinen ulkoilmaan verrattuna, jolloin lämpökuvauksella ei välttämättä havaita mahdollisia puutteita, mikäli kyseessä on ilmavuotokohta. [4.]

Rakennuksen tai sen osien tiiviyyttä mitataan Suomessa niin sanotulla alipainemenetelmällä, jossa tutkittavaan tilaan aiheutetaan 50 Pa:n alipaine ulkoilmaan nähden. Suomessa ilmavuotoluku n_{50} on esitetty yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa. Rakennus lämpökuvataan sisäpuolelta ennen alipaineistamista sekä 50 Pa:n alipaineessa. Alipaineessa havaitaan ilmavuotokohdat ja kylmäsilat voidaan erottaa ilmavuotokohdista. [4.]

Kun lämpökuvauksessa käytetään lämpö- ja ilmavuotojen tutkimiseen, sisä- ja ulkoilman lämpötilojen eron pitäisi olla vähintään 15 °C. Talvi on näin ollen otollista aikaa tähän tarkoitukseen. Lämmin ajankohta kesällä taas mahdollistaa esimerkiksi ilmastoinnin kunnan ja rakennuksen kosteusvaurioiden arvioinnin.

Eristeiden puuttuminen rakenteiden sisältä ilmenee lämpökuvassa useimmiten suoraviivaisena poikkeamana. Ilmavuodot erottuvat lämpökuvissa epämääräisinä, usein sahalaitaisina kuvina. [4.]

5.2 Kosteusvaurioiden lämpökuvaukset

Kosteus rakenteissa johtaa yleensä ennemmin tai myöhemmin sisäilman ongelmiin. Lämpökuvauksella voidaan jäljittää myös kosteusvaurioita. Kastuneet rakenteet muut-

tavat pintalämpötilaa suhteessa muuten samantyyppiseen, mutta kuivaan rakenteseen. Toisin sanoen kostunut materiaali muuttaa lämpötilaansa hitaammin kuin kuiva. Esimerkiksi illalla ilman jäähtyessä märkä pinta pitää lämmön pidempään ja päinvastoin aamulla lämpötilan noustessa kostea pinta on pidempään kylmempi. Näin ollen, jos esimerkiksi sisätilaa lämmitetään nopeasti, voidaan paljastaa kosteat kohdat ennen ja jälkeen lämpökuvauksen. Ulkopuolelta mitattuna eristevirheet ja kylmäsilat näkyvät ympäristöään lämpimämpinä.

Lämpökuvauus kosteuskartoituksissa ja vesivahinkotapauksissa ei ole kuitenkaan kosteuskartoitusmenetelmänä parempi kuin muut käytössä olevat menetelmät. Yleensä kosteusvaurioiden selvittämiseen tarvitaan muuttuvia lämpötilaolosuhteita, kuten esim. rakenteen lämmittämistä, ja jäähtymisnopeuden ja pintalämpötilojen muutosten mittausta. Tällöin joudutaan monimutkaisiin laskelmiin, jolloin vaurion selvittäminen voi olla yksinkertaisempaa muilla menetelmillä. [4.]

Kosteusvaurioista aiheutuu usein melko heikko lämpötilapoikkeama, mutta sen tunnistaa helposti epäsäännöllisyydestään. Kosteusvaurion todennäköisyyttä ei useinkaan voida varmuudella sanoa ilman kosteusmittauksia. Maanvaraisessa lattiassa lämpötilaeroja aiheuttavat esimerkiksi keskellä rakennustakin laatan vahvennukset, eristeen epäjatkuvuudet, viemäriverdot, lämmitysputket jne. Kosteusvaurion todennäköisyys tulee aina varmistaa lisätutkimuksin tai ainakin raportissa on mainittava tarve tehdä kyseinen lisätutkimus. [4.]

Erilaisten vuotojen aiheuttama lämpötilapoikkeama on useimmiten havaittavissa lämpökameralla silloin, kun vuotava neste on ympäristöään lämpimämpää tai kylmempää eikä rakenne vuodon ympärillä eristä liikaa. [4.]

Vuotoja, lämmityskaapeleita tai putkia etsittäessä on tärkeää antaa rakenteen jäähtyä tai tasoittua ympäristönsä kanssa, jonka jälkeen rakennetta ruvetaan lämmittämään tai jäähdyttämään ja tilannetta aletaan seurata lämpökameralla. [4.]

5.3 Sisäilmaston kuntotutkimus

Sisäilmaston kuntotutkimuksen taustalla on usein käyttäjille aiheutuvaan terveyshaittaan liittyviä epäilyjä. Lämpökameralla nähdään heti tilojen termiset olosuhteet, jos

tilassa on säteilyvetoa aiheuttavia kylmiä pintoja tai jos rakenteessa on ilmavuotoa. Lämpökameralla voidaan paikantaa myös korvausilmareitit, joiden kautta rakenteista tai muista lähteistä tulevat epäpuhtaudet saattavat kulkeutua sisäilmaan. [4.]

Usein sisäilmamittauksissa tarvitaan tueksi myös muita mittauksia, kuten pintalämpötilojen seurantamittauksia, ilman lämpötilan mittauksia sekä vetomittauksia ja ilman virtausnopeuden mittauksia. Lämpökuvauksella ei aina kaikissa tapauksissa voida havaita varsinaista homekasvustoa, jos pintarakenne on muuten kuiva.

5.4 Sähkölaitteet ja LVI

Talotekniikan järjestelmien kuvaus kannattaa suorittaa samalla, kun rakennus tutkitaan muutenkin, jolloin saadaan hyvää lisätietoa pienellä kustannuksella.

Lämpökuvauksella voidaan tarkastaa lämpöpattereiden ja lattialämmityksen toiminta vaivattomasti. Sillä voidaan selvittää tukkeutuneiden ja vaurioituneiden putkien sijainti. Myös rakenteissa tai maan alla olevia putkia, kaapeleita ja johtoja voidaan jäljittää lämpökameralla. Ilmanvaihtojärjestelmästä voidaan tarkistaa mm. tulo- ja poistoilman sijainti, kylmän ilman liikeradat pinnoilla ja ilmanvaihtojärjestelmän mahdolliset vuodot.

Sähkö- ja LVI-laitteiden kunnon arviota voidaan helpottaa lämpökuvauksella. Lämpökuva paljastaa ylikuumentuneet sulakkeet ja liitännät sähkökeskuksessa. Näin voidaan välttää koneiden ja laitteiden rikkoutuminen ja jopa mahdollinen tulipalo.

5.5 Laadunvalvonta rakentamisen aikana

Lämpökuvaus on ainoa tutkimusmenetelmä, jolla voidaan riittävän tarkasti ja nopeasti määrittää rakennuksen vaipan lämpötekniinen kunto. Lämpökuvaus on parhaimmillaan rakennusurakoitsijan laadunvarmistustyökaluna, jolloin jo työnaikaisilla tarkastuksilla voidaan havaita viat ja puutteet. Työn aikaisten lämpökuvausten ongelma on usein siinä, ajoittuuko työmaa aikataulullisesti kylmälle vuodenajalle. [4.]

Eri rakennusmateriaalien kuivuminen on usein kriittinen rakennusprojektin tiukkoja aikatauluja noudattaessa. Esimerkiksi betonivalun kuivumisprosessia voidaan seurata

lämpökameran avulla. Rakennusvaiheen valvontaa voidaan tehostaa mm. tarkistamalla lämpökuvauksella, onko eristystyö tehty suunnitelmien mukaan.

Laadunvalvonnassa lämpökuvauksen hyödyntäminen ikkunoiden tiivistyksen ja patte-
reiden toiminnan tarkastamisessa on helppoa ja kustannustehokasta.

5.6 Lämpökuvaus restaurointityössä ja korjausrakentamisessa

Lämpökuvaus mahdollistaa rakenteiden tarkastelun ilman purkutöitä. Tämä on tärkeää etenkin, jos kysymyksessä on arvokas restaurointikohde. Lämpökameralla tallennettua materiaalia voidaan käyttää apuna restaurointitöiden suunnittelussa ja toteutuksessa.

Lämpökuvauksella voidaan tutkia myös pinnoitteiden kuntoa, kuten rappauksen irtoamista. Alustastaan irronneen rappauksen alla on ilmakerros, joka toimii eristeenä. Tällöin, esim. jos pintaa lämmitetään, irronnut rappauksen osa lämpiää nopeammin ja myös jäähtyy nopeammin kuin hyväkuntoinen pinnoite. [4.]

Rappauksen irtoaminen pystytään selvittämään lämpökuvauksen avulla, mutta menetelmä vaatii suhteellisen kauan aikaa sekä ulkoilman lämpötilan muutoksen tai ulkopuolisen energialähteen. Auringon säteilyä voidaan käyttää hyväksi. Näissä tapauksissa kuvaajalla täytyy olla todella hyvä ammattitaito, koska virhetulkintojen vaara on suuri. [4.]

Lämpökuvausta voidaan siis käyttää vanhojen rakennusten kunnan arvioimiseen. Tietoa rakennuksen kunnosta halutaan mm. silloin, kun ollaan suunnittelemassa peruskorjausta tai halutaan arvioida tarvetta kunnostaa rakenteita ja parantaa talotekniikkaa. Lämpökuvaus soveltuu myös hyvin ennakoivaan kunnossapitoon. [4.]

6 Lämpökuvauksen suorittaminen

Tässä luvussa kerrotaan, kuinka lämpökuvaus suoritetaan ja mitä ennakkotoimenpiteitä se vaatii.

Kun lämpökuvausta harkitaan, tulisi tilaajan pystyä määrittämään syyt, joiden vuoksi lämpökuvaus halutaan tehtäväksi ja tavoitteet, joita lämpökuvauksella halutaan saavuttaa.

Lämpökuvauksen suorittajan pitää tarvittaessa pystyä selittämään, mitä lämpökuvauksella kyseisessä kohteessa voi tehdä. Toimeksiannon laajuudesta, kohteesta ja tavoitteista pitää vallita yksimielisyys ennen toimeksiantoa. Rakennusten lämpökuvauksessa käytettävän kameran tulee olla mittaava, tasapainotettu ja kuvantava mittalaite. Lämpökameraa, jossa ei ole lämpökuvien jälkikäsitteily- ja analysointiominaisuutta, voidaan käyttää vaikkapa rakennustyön aikaiseen laadunvalvontaan. [4.]

Huoneilman kosteus ja lämpötila mitataan tarkoitukseen sopivalla, kalibroidulla mittalaitteella oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta. Paine-ero rakennuksen vaipan yli mitataan elektronisella paine-eromittarilla, jonka tarkkuus on oltava vähintään 1 Pa. Lämpökuvaajan velvollisuus on huolehtia mittalaitteiden kalibroinnista ja todistus siitä on tarvittaessa esitettävä.

Valmiiden rakenteiden lämpötekniistä toimintaa tarkastaessa edellytetään seuraavia olosuhteita [4.]:

1. Vähintään 12 tunnin aikana ennen kuvauksen suorittamista ei ulkoilman lämpötila saa poiketa enempää kuin ± 10 °C lämpökuvauksen aloittamisajan lämpötilasta.
2. Vähintään 12 tunnin aikana ennen lämpökuvausta ja sen aikana ilman lämpötilaero ulkovaipan yli ei saa alittaa lukuarvoa $3/U$.
3. Vähintään 12 tunnin aikana ennen lämpökuvausta ja sen aikana kuvattava osa ei saa olla alttiina auringon säteilylle. Jos kuitenkin niin on tapahtunut, se on merkittävä raporttiin ja säteilyn mahdollinen vaikutus on otettava huomioon.
4. Lämpökuvauksen aikana ei ulkoilman lämpötila saa poiketa enempää kuin ± 5 °C eikä sisälämpötila saa poiketa enempää kuin ± 2 °C lämpökuvauksen aloittamisajankohdasta.

5. Kuvattavan rakennuksen sisätiloissa tulee olla lievä alipaine ulkoilmaan verrattuna.

Kun lämpökuvausta käytetään työn aikana urakoitsijan sisäisessä laadunvalvonnassa, ei mittausolosuhteille aseteta vaatimuksia. Kuvaus voidaan toteuttaa yksilöidyllä tavalla, kunhan mahdolliset rakenteiden lämpötekniset puutteet saadaan esiin.

Asukkaille ja tilan käyttäjille tulee tiedottaa seuraavat asiat:

1. Kuvausajankohta
2. Irtokalusteiden siirto ulkoseiniltä n. 1 metrin etäisyydelle
3. Ikkunaverhot tulisi poistaa 12 tuntia ennen kuvausta tai siirtää aukon keskelle.
4. Kuvattavien tilojen ilmastoinnin ja lämmityksen tulee olla normaalin käyttötilanteen säädöillä vähintään 24 tunnin ajan ennen kuvauksen aloittamista.

Lämpökuvaajan tulee täyttää lämpökuvaajan kenttätyölomake, joka liitetään mittausraporttiin. Raportissa tulee ilmetä ulkoilman yleiset tiedot 12–24 tunnin ajalta ja kohteen tiedot ennen mittauksen aloittamista. Rakennuksesta tulee olla käytettävissä ennen mittauksia rakennuksen pohjapiirustukset ja rakenneleikkaukset sekä tiedot lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmästä asian käsittelyn vaatimalla tarkkuudella. [4.]

Ennen kuvauksen aloittamista on tarkastettava ja säädettävä kameran asetukset ja kirjattava ylös mittausolosuhteet, kuten pinnan emissiokerroin, joka yleisesti normaaleissa rakennusmateriaaleissa on 0,90–0,95. Lisäksi on tarkistettava kuvausetäisyys ja tutkittavan tilan ilman lämpötila ja kosteus.

Esineen tai pinnan emissiivisyys on tärkeää huomioida lämpökuvauksessa. Emissiivisyys kuvaa sitä, kuinka paljon pinta luovuttaa infrapunasäteilyä. Tämä riippuu paljon eri materiaalien ominaisuuksista, koska materiaalit johtavat lämpöä erilalla. Esimerkiksi rauta lämpiää nopeasti, rakennuseriste hitaasti ja tiili jäähtyy hitaammin kuin puu. Ennen lämpökuvausta onkin tarkistettava, onko emissiivisyysluku on oikein säädetty.

Ikkunoiden pintalämpötiloihin on aina suhtauduttava varauksellisesti, koska lämpökuvausella mitataan ikkunan pinnan lähettämän säteilyn lisäksi ikkunan heijastamaa ympäristön säteilyä. Julkisivun kuvauksessa otetaan huomioon kuvauskulmat ja avaruuden taustasäteilyn vaikutus, etenkin ikkunalaseissa ja peltipinnoissa. Jotkin materiaalit, kuten eri metallit tai vaikka kuvaajan heijastuma ikkunalasista, heijastavat peilin lailla lämpösäteilyä. Tämä voi johtaa väärin tulkintoihin lämpökuvissa. Heijastumia voidaan välttää kuvaamalla kohdetta eri suunnista. Heijastuma siirtyy lämpökuvassa, kun taas oikea, kohteesta lähtevä lämpösäteily ”pysyy paikallaan”.

Lattianrajat ovat usein aina alipaineisia, jolloin ilmapuodot voidaan paikantaa sisäpuolelta. Yleisesti voidaan olettaa, että rakennuksissa, joissa ei ole koneellista ilmanvaihtoa, on aina katonrajassa ylipainetta, jolloin ilmapuotojen kuvaus tulee tehdä ullakolta tai muutoin kylmältä puolelta [4.]

Mittauksen aikana asunnon lämmityksen ja ilmanvaihdon on oltava samanlaiset kuin tavanomaisessa käyttötilanteessa. Ennen mittauksia on varmistettava, että sisälämpötila on ollut riittävän tasainen ja pintalämpötiloja mitattaessa on otettu huomioon mahdolliset ulkolämpötilan vaihtelut. [4.]

Ennen lämpökuvausta pitää myös säätää ja rajata lämpötila-alue, jolta halutaan kerätä tietoa. Lämpökameran automatiikka voi muutoin kuvata turhia alueita, jolloin tärkeät alueet jäävät epäselviksi. Lämpökameraan voidaan asettaa raja, joka näyttää esimerkiksi kastepistealueen tai tietyn suhteellisen kosteuden ylittämisen.

Lämpökuvaajan täytyy tietää sisä- ja ulkoilman lämpötila. Tämän lisäksi täytyy tietää, onko viimeisen vuorokauden aikana ollut liian suuria lämpötilan vaihteluita. Voimakas auringonpaiste, tuuli, sade sekä varjot haittaavat merkittävästi lämpökuvausta ja voivat johtaa väärin tulkintoihin.

Lämmitys ja ilmanvaihto sekä ilmastointi aiheuttavat rakenteiden kylmenemistä tai lämpenemistä. Näiden vaikutus täytyy huomioida lämpökuvausta suorittaessa ja kuvia analysoitaessa.

Taulut, kirjahyllyt, tms. pitävät seinäpintoja kylmempinä ympäristöönsä nähden. Nämä pitääkin siirtää pois seiniltä ennen lämpökuvausta. Pintojen lämpötila ehtii tasaantua,

jos toimenpide tehdään edellisenä päivänä. Rakennuksen rakenteet on syytä selvittää ennen kuvausta. Näin voidaan tuloksia tulkita oikein.

Lämpökamerassa on yleensä aina myös normaali digitaalikamera, jolla voidaan ottaa kuva kohteesta. Tämä helpottaa kuvien tulkintaa ja paikantamista myöhemmin. Lisäksi voidaan yleensä käyttää ns. kuva kuvassa -toimintoa, jossa normaalin digitaalivalokuvan keskellä on lämpökuvausalue. Kalliimmissa lämpökuvauuskameroissa on mahdollisuus vaihtaa teleoptiikasta laajakulmaan.

Lämpökuvauksesta tehdään lämpökuvausraportti, johon sisältyy kohteen yleistiedot, lähtöarvot, ohjeet ja määräykset, raja-arvot ja lämpökuvauksen tulokset ja johtopäätökset. Liitteenä raporttiin tulee lämpökuvauksisivut ja pohjapiirustukset. [4.]

7 Lämpökuvien tulkinta

Rakennusten lämpökuvauksessa tärkein vaihe on tulosten tulkinta. Lämpökuvaajan tulisi olla rakennusalan ammattilainen, jotta hän ymmärtää havaitsemiensa poikkeamien merkityksen. Lämpökuvien oikean tulkinnan ehtona on, että lämpötilamittaukset osataan tehdä oikein. Tästä johtuen lämpökuvauksella olisi syytä antaa sertifikaatin omaavan lämpökuvaajan suoritettavaksi.

Lämpökuvauksen avulla huomattavat eroavaisuudet, jotka vaikuttavat merkittävästi lämpöviihtyvyyteen, on syytä ilmoittaa raportoinnin yhteydessä. Raportissa on kehoitettava korjaamiseen tai lisätutkimuksiin, jos rakenteiden toimivuus, pitkäaikaiskestävyys tai vaurioituminen on havaittu olevan vaarassa lämpökuvien tulkinnan yhteydessä.

Tulosten tulkinnan helpottamiseksi lasketaan lämpötilaindeksi silloin, kun kyseessä on normaali sisäpuolelta tehty lämpökuvauks. Poikkeamista (lämpötilaindeksi alle 70 %) tehdään johtopäätöksinä korjausluokitusarvio, mikäli siitä on tilaajaosapuolen kanssa toimeksiannon yhteydessä sovittu. Korjausluokan arvioinnissa on pyrittävä ottamaan huomioon tilan käyttötarkoitus sekä poikkeaman laajuus ja sijainti tilassa. [4.]

Pääsääntöisesti käytetty minimikriteeri (TI = 61 %) tulisi kuitenkin saavuttaa. Käytännössä poikkeamat rakennuksissa ovat pääsääntöisesti oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella, rakenteiden liittymissä ja läpivienneissä. [4.]

Lämpökuvaustulosten tulkintaan ja korjausluokituksen minimitason määrittämiseen käytetään terveydellisiä ohjeita. Terveydelliset ohjeet määrittävät rakennuksille niin sanotun vähimmäistason. Varsinainen terveyshaitta koskee ainoastaan oleskeluvyöhykettä ja pääsääntöisesti lähtökohtana on, että sisäilman kosteus ei tiivistyisi asuinhuoneistojen sisäpinnoille. Rakenteiden pintalämpötilojen ei näin ollen saisi laskea kastepistelämpötilan alapuolelle.

Kosteus- ja homevaurioiden sekä talotekniikan vikojen paikantaminen lämpökuvauksella jää aina kuvaajan asiantuntemuksen ja kokemuksen varaan. Kokemuksen myötä opitaan katsomaan eri ilmiöitä ja asioita ja tekemään niistä johtopäätöksiä. [4.]

Raportissa lämpökuvaaja raportoi ja ottaa kantaa havaitsemiinsa puutteisiin. Raportissa voidaan esittää myös lämpöteknisesti hyvin toimivia rakenteita. Lämpökuvaustuloksista laaditaan lämpökuvausraportti, joka sisältää mittausraportin. Mittausraporttiin lisätään vähintään kuvausten aikana vallinneet olosuhteet (ulkolämpötila, sisälämpötilat, tuulen nopeus, pilvisuus, auringon säteily sekä sisätilojen painesuhteet ulkoilmaan verrattuna), lasketut lämpötilaindeksit ja korjausluokitus (mikäli siitä on sovittu tilauksen yhteydessä). [4.]

8 Lämpökuvaus Suomenlinnassa

Opinnäytetyöhön liittyen lämpökuvausta suoritettiin Suomenlinnassa kahtena eri ajan kohtana. Kuvaus tehtiin kahdella erilaisella lämpökameralla.

Ensimmäinen kuvauskerta oli 16.2.2012, jolloin kuvattiin kahta eri kohdetta itsenäisesti Suomenlinnan hoitokunnan pistoolimallisella lämpökameralla (Flir b40). Kuvauskohteina olivat Aliupseeritalo C 58 (asunnot B 13, C 19, C 20) ja Kurikomppania A 3 (asunnot 1, 2, 3 ja 4).

Toisella kuvauskerralla lämpökuvausta suoritettiin 7.3.2012 Metropolian Ammattikorkeakoulun lämpökameralla (Flir PM 695) laboratorioinsinööri Markus Immosen ohjauksella. Lämpökuvauskohteina olivat rakennus B 17 (asunnot 4 ja 6), rakennus C 49 (asunto B) ja Aliupseeritalo C 58 (rakennuksen julkisivut ulkopuolelta sekä asunnot A 3, B 9, C 15 ja C 18).

9 Kohteet

9.1 Aliupseeritalo C 58

Aliupseeritalo C 58 on 2-kerroksinen asuintalo. Rakennus on tiilirunkoinen. Se on alun perin rakennettu muonavarastoksi vuosina 1876–77. Varastokäytössä se oli aina vuoteen 1920, jolloin sen sisätilat tuhoutuivat tulipalossa. Rakennus korjattiin vuosina 1931–32 ja muutettiin asuinkäyttöön. Rakennuksessa on kolme porrashuonetta ja yhteensä 24 asuntoa. [5.]

Rakennuksessa on ollut kosteusongelmia, jotka johtuvat mahdollisesti tulipalon aiheuttamista vaurioista rakennuksen rungossa. Rappaamattomassa tiilirungossa olevat pienet halkeamat johtavat vettä rakenteista asuntojen sisäpintoihin varsinkin rakennuksen itäpuolella. Yhteen asuinhuoneistoista on koeluontoisesti asennettu ulkoseinille sähkölämmityskaapeli pitämään rakennetta kuivana.

9.2 Kurikomppania A 3

Kurikomppania A 3 on hirsirakenteinen puurakennus, jossa on neljä asuinhuoneistoa. Se rakennettiin tykistölaboratorioksi vuosina 1880–81. Asuinkäyttöön se otettiin vuonna 1972 ja siihen tehtiin peruskorjaus vuosina 1991–92. [5.]

Rakennuksessa on havaittu sisäilmaongelmia ja se on poistettu asuinkäytöstä korjausremontin ajaksi vuonna 2012. Lattiarakenteet on purettu, koska alapohjasta on löydetty kosteus- ja lahovaurioita. Opinnäytetyöhön liittyvä lämpökuvaus suoritettiin rakennuksen tyhjiissä huoneistoissa ennen korjausremontin alkamista.

9.3 Rakennus B 17

Rakennuksen B 17 asuinhuoneistot kuuluvat Puolibastioni Hjärneen, joka on rakennettu vuosina 1773–76. Se on tiili- ja kivirakenteinen, eteläpuoleltaan rapattu ja osittain puolustusmuuriin liittyvä rakennus. Rakennus on ollut jatkuvasti asuinkäytössä 1900-luvun alusta [5.]. Lämpökuvaus suoritettiin kahdessa tyhjässä asuinhuoneistossa.

9.4 Rakennus C 49

Rakennus C 49 on rakennettu vuonna 1841 sotilaskeittiöksi. Se on 1-kerroksinen, rapattu tiilirakennus ja siinä on nykyään kolme asuinhuoneistoa. Peruskorjaus rakennuksen ottamiseksi asuinkäyttöön tehtiin vuosina 1995–96. [5.]

Rakennuksessa on valitettu huonosta sisäilmasta, joka johtunee ainakin osittain maanvaraiseen alapohjaan liittyvistä rakenteellisista ongelmista. Tällä hetkellä asunto B on tyhjiällä asuntoremontin ajan.

10 Lämpökuvauspäivä 16.2.2012

Lämpökuvaus suoritettiin Suomenlinnan hoitokunnan pistoolimallisella lämpökameralla (Flir b40). Työstä ei tehty lämpökuvausraporttia. Kuvauspäivän tarkoitus oli tutustua kyseisen lämpökameran ominaisuuksiin sekä tutkia, kuinka sitä voidaan hyödyntää Suomenlinnan restauroinnin yhteydessä korjaus- ja huoltotoimenpiteiden valvontatyökaluna. Tässä luvussa havainnollistetaan kuvin, mitä lämpökameran kuva kertoo kuvattavasta kohteesta. Huomioitavaa on, että lämpökuvien asteikon lämpötilat eivät välttämättä ole täysin totuudenmukaisia johtuen lämpökuvaajan kokemattomuudesta uuden laitteen kanssa toimiessa.

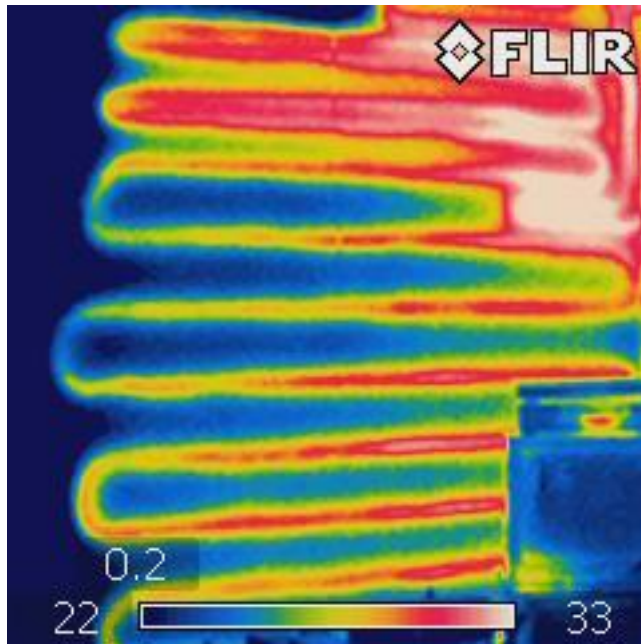
Kurikomppanian A 3 asuinhuoneistot olivat tyhjiällä kuvaushetkenä. Asukkaille rakennuksen C 58 asuinhuoneistoissa ilmoitettiin lämpökuvauksen ajankohta sekä tarvittavista toimenpiteistä ennen kuvaukseen ryhtymistä.

Lämpökuvaus tehtiin 16.2.2012. Harmajalla mitattu aamun lämpötila klo 7 oli $-7,2$ °C ja tuulen voimakkuus 1 m/s.

Asuinhuoneistoja kuvatessa ei löytynyt suuria eroja rakenteiden toimivuudessa huoneistojen välillä. Kurikomppanian A 3 asuinhuoneistojen sisälämpötilat olivat niissä kuvaushetkellä hieman normaalia korkeampia. Selkeänä yhteisenä puutteena voidaan pitää osittain huonoa ikkunoiden tiiviyyttä ja lämpöpattereiden osin puutteellista toimintaa.

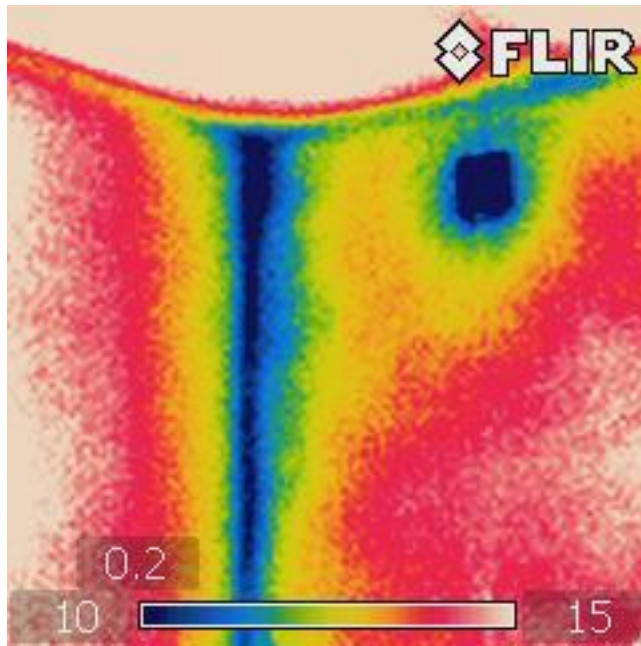
10.1 Aliupseeritalo C 58 (asuinhuoneisto C 20)

Rakennuksen C 58 lämpökuvaus suoritettiin noin klo 9.00–11.00. Asuinhuoneiston C 20 lämpötila oli kuvaushetkellä 22 °C ja suhteellinen kosteus RH 25 %. Asuinhuoneistoon C 20 on asennettu seinään lämmityskaapeli, jonka toiminnan näkee lämpökameralla (kuva 1).



Kuva 1. Lämmityskaapeli toiminnassa seinässä.

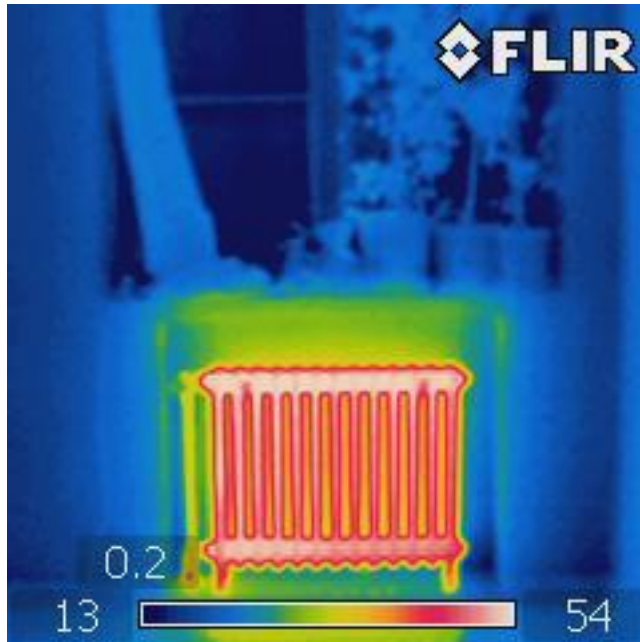
Asuinhuoneistojen ulkoseinien nurkat ovat tyypillisesti kylmempiä verrattuna ympäristöönsä, joka on aivan normaali rakennusfysikaalinen ilmiö. Myös auki ja toiminnassa olevan korvausilmaventtiilin ympäristö näkyy viileämpänä kohtana lämpökuvauksella (kuva 2).



Kuva 2. Korvausilmaventtiili ja nurkka näkyvät viileämpinä kohtina.

10.2 Aliupseeritalo C 58 (asuinhuoneisto C 19)

Asuinhuoneiston C 19 lämpötila kuvaushetkellä oli 21,7 °C ja suhteellinen kosteus RH 27 %. Asunnon ulkoseinien ja lämpöpattereiden toimintaa tarkasteltiin lämpökuvauksella (kuva 3).

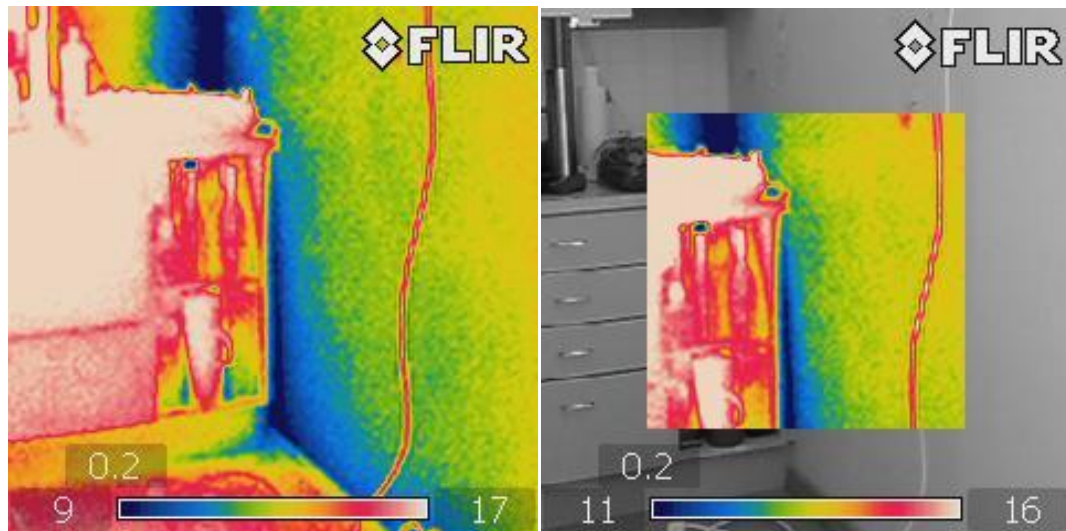


Kuva 3. Lämmityspatteri toiminnassa ja kunnossa.

10.3 Aliupseeritalo C 58 (asuinhuoneisto B 13)

Asuinhuoneiston B 13 lämpötila kuvaushetkellä oli 19,6 °C ja suhteellinen kosteus RH 31,5 %. Asuinhuoneiston B 13 ulkoseinät lämpökuvattiin sisäpuolelta. Tarvittaessa ja epäselvässä tapauksessa voidaan lämpökuvasta ottaa samasta kohtaa normaali digitaalinen valokuva tai ns. kuva kuvassa -valokuva (kuva 4). Tällä voidaan täsmentää kuvauskohteen sijaintia.

Kuvan 4. viileämpi alue johtuu avonaisesta korvausilmaventtiilistä ja kylmästä huoneiston ulkonurkasta.

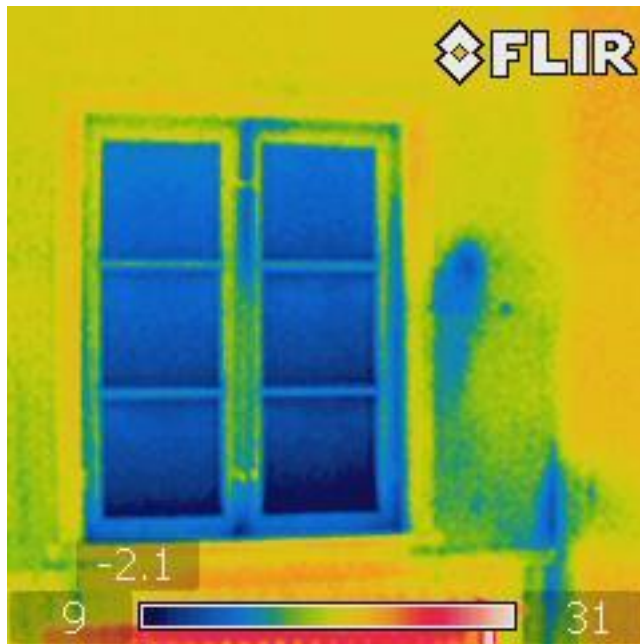


Kuva 4. Lämpökuva ja "kuva kuvassa".

10.4 Kurikomppania A 3 As 1

Rakennuksen A 3 lämpökuvaus suoritettiin noin klo 13.00–14.00. Asuinhuoneiston 1 lämpötila oli kuvaushetkellä 20,4 °C ja suhteellinen kosteus RH oli 23 %. Lämpötila Harmajalla oli klo 13:00 –2,7 °C ja tuulen nopeus 3 m/s.

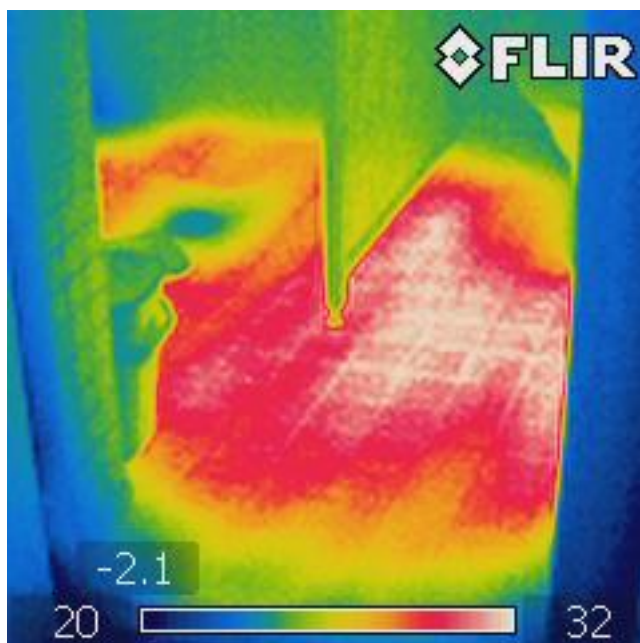
Kurikomppanian A 3 asuinhuoneistossa 1 on puutteita ulkoseinän eristyksessä. Lämpökamera paljasti selvästi kylmempiä kohtia sisäverhouspaneelien välistä (kuva 5). Mahdollisesti hirsien varaus ei ole tiivis ja/tai hirsien välissä eristeenä oleva rive on puutteellisesti asennettu. Seinärakenteen lämpötekniinen toiminta tulisikin tarkistaa remontin yhteydessä.



Kuva 5. Hirsiseinässä lämpövuotoja.

10.5 Kurikomppania A 3 As 2

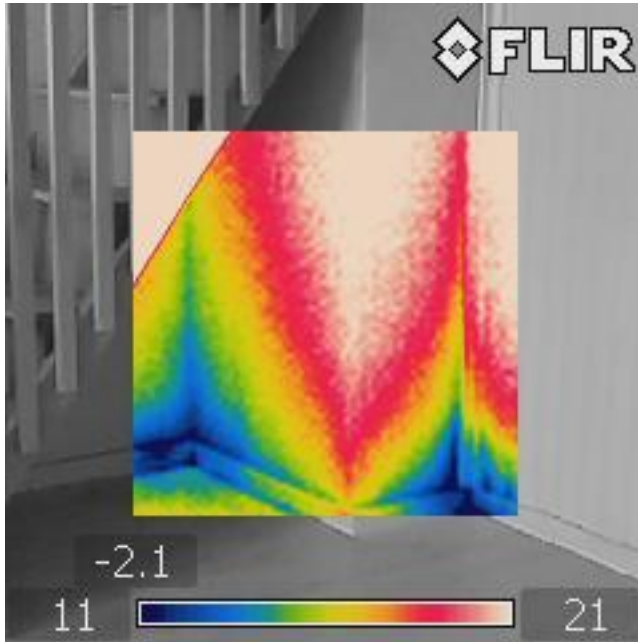
Asuinhuoneiston 2 lämpötila kuvaushetkellä oli 23 °C ja suhteellinen kosteus RH 15 %. Kurikomppanian A 3 asuinhuoneistojen kylpyhuoneiden lattialämmitysten toimivuus tarkastettiin. Lämpökuvasta voi nähdä lämpökaapelin sijainnin (kuva 6).



Kuva 6. Kylpyhuoneen lattialämmitys päällä.

10.6 Kurikomppania A 3 As 3

Asuinhuoneiston 3 lämpötila oli kuvaushetkellä 22,8 °C ja suhteellinen kosteus RH 18,3 %. Lämpökuvaukset paljasti lämpövuotoa ja puutteellisen eristyksen alanurkissa (kuva 7). Tämä koetaan yleensä lattian tasossa vetona.

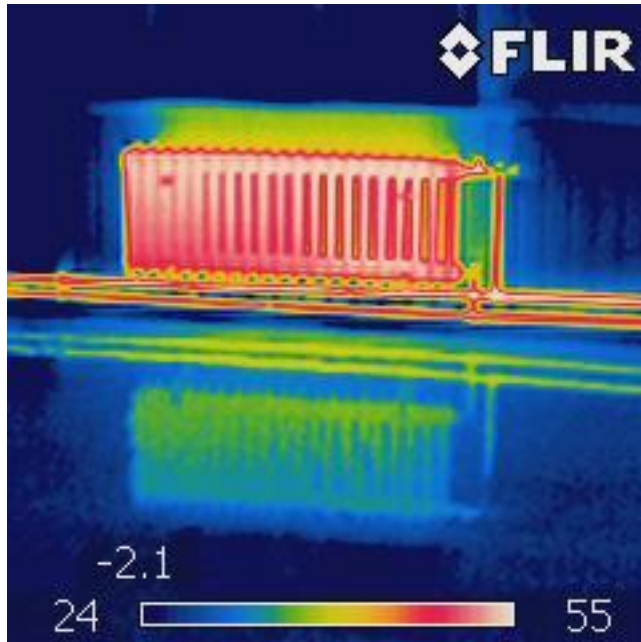


Kuva 7. Lämpövuotoa ja puutteellinen eristys nurkissa.

10.7 Kurikomppania A 3 As 4

Asuinhuoneiston 4 lämpötila kuvaushetkellä oli 24,3 °C ja suhteellinen kosteus RH 14,6 %.

Lämpökameralla kuvatessa erilaiset pinnat heijastavat säteilyä eri tavalla. Tämä voi aiheuttaa tulkintavirheitä kuvia analysoitaessa. Lämpöpatterin säteily heijastuu maalausta lattiasta (kuva 8). Lattia ei siis ole lämmin kyseisestä kohdasta, vaan lämpöpatterin heijastuskuva näkyy kiiltävällä, maalatulla pinnalla.



Kuva 8. Lämpösäteilyn heijastuminen.

11 Lämpökuvauspäivä 7.3.2012

Toisena kuvauspäivänä lämpökuvaus suoritettiin 7.3.2012 Metropolian Ammattikorkeakoulun lämpökameralla (Flir PM 695, 80° laajakulmaoptiikka) laboratorioinsinööri Markus Immosen ohjauksella. Lämpökuvauksesta tehtiin lämpökuvausraportti, joka annettiin Suomenlinnan hoitokunnan käyttöön ohjeellisena esimerkkinä mahdollisia tulevia lämpökuvausprojekteja varten. Liitteinä ovat mallit mittausraportista (liite 1) ja pohjakuvasta (liite 2). Ennen lämpökuvauksen suorittamista mitattiin paine-erot, sisäilman lämpötilat ja sisäilman suhteelliset kosteudet. Paine-eromittarina oli TSI VelociCalc.

Kuvissa suorakaiteen rajaamasta alueesta (ARO1, ARO2,...) kerrotaan alueen alin lämpötila. Ristinmerkki (SPO1, SPO2,...) kertoo pistemäisen lämpötilan kyseisessä kohdassa.

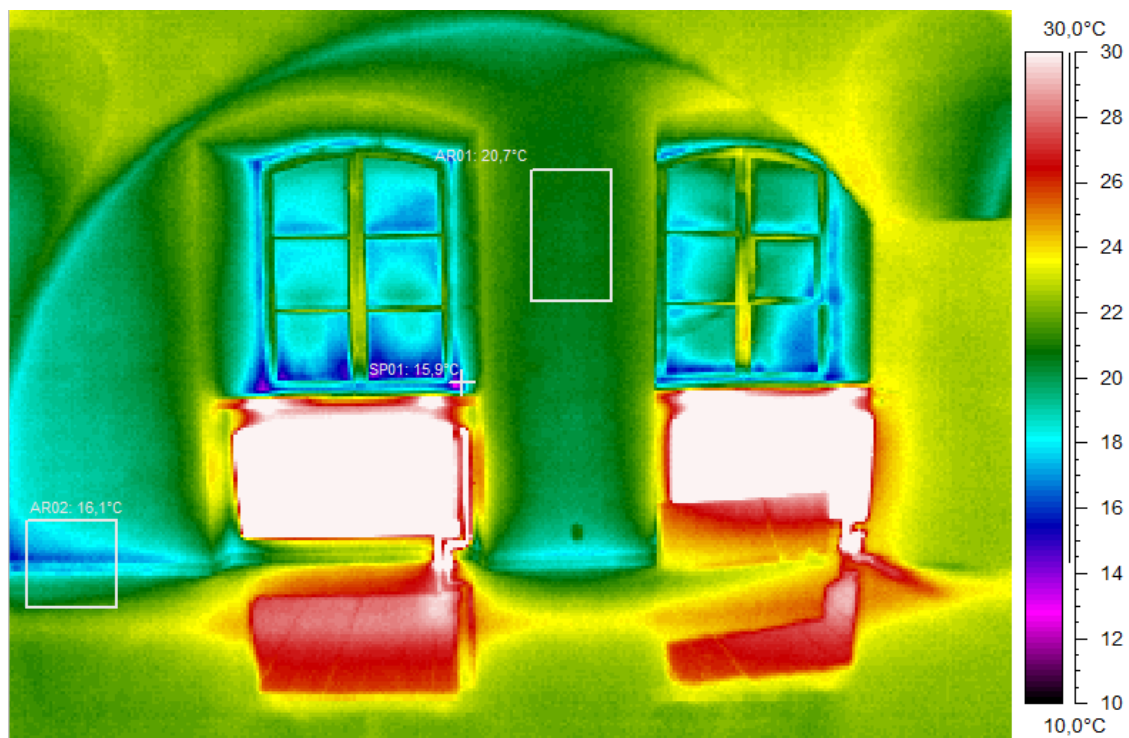
11.1 Rakennus B 17 (asuinhuoneistot 4 ja 6)

Asuinhuoneiston 4 lämpötila kuvauksen aikana oli 21 °C ja suhteellinen kosteus RH 20,8 %. Alipainemittaus näytti 1 Pa:n alipainetta. Laskennallinen lämpötilaindeksin minimikriteeri (TI = 61 %) ylittyi selvästi (kriittinen lämpötilaraja 10,0 °C).

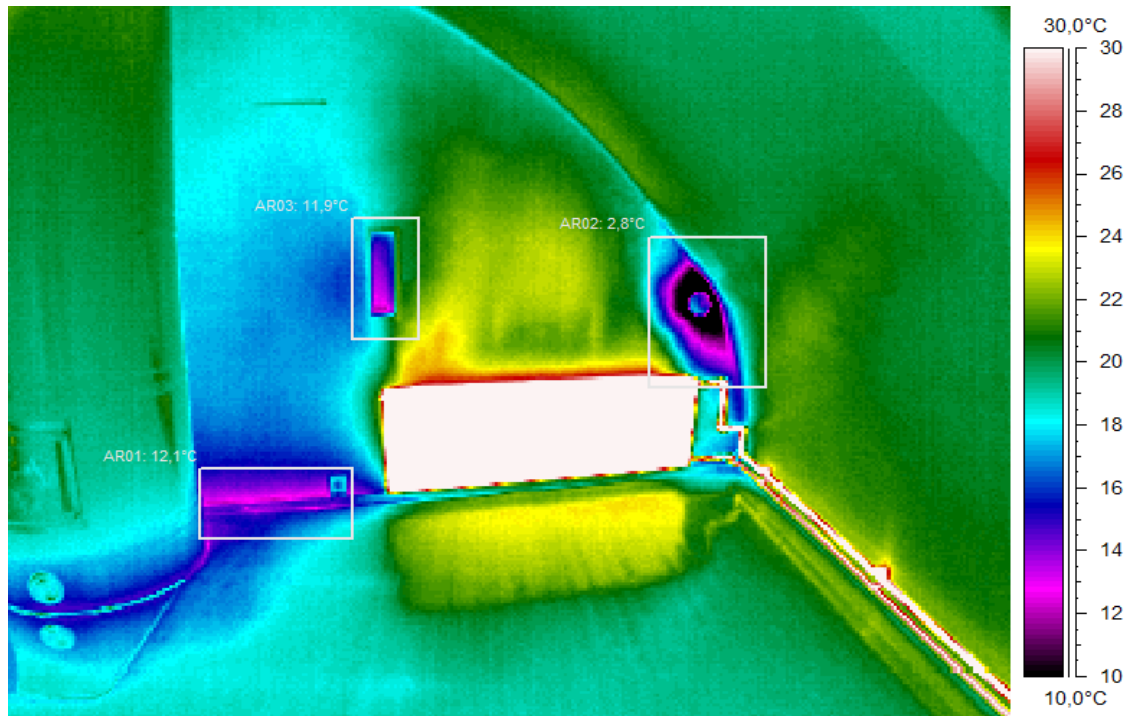
Asuinhuoneiston 6 lämpötila kuvauksen aikana oli 21 °C ja suhteellinen kosteus RH 15,1 %. Alipainemittaus näytti 5 Pa:n alipainetta. Laskennallinen lämpötilaindeksin minimikriteeri (TI = 61 %) ylittyi pääsääntöisesti, vaikka lämpötila alittui ikkunoiden ja korvausilmaventtiilien kohdalla (kriittinen lämpötilaraja 10,0 °C).

Ikkunoissa on lämpövuotoa ja lämpöpatterien säteily heijastuu lattiasta (kuva 9).

Asuinhuoneiston 6 lattian rajassa on hieman lämpövuotoa, mutta se ei ole vakavaa (kuva 10).



Kuva 9. Rakennus B 17 As 4. Ikkunat ja patterit.



Kuva 10. Rakennus B17 As 6. Lämpövuotoa lattian rajassa ja korvausilmaventtiilin ympärillä.

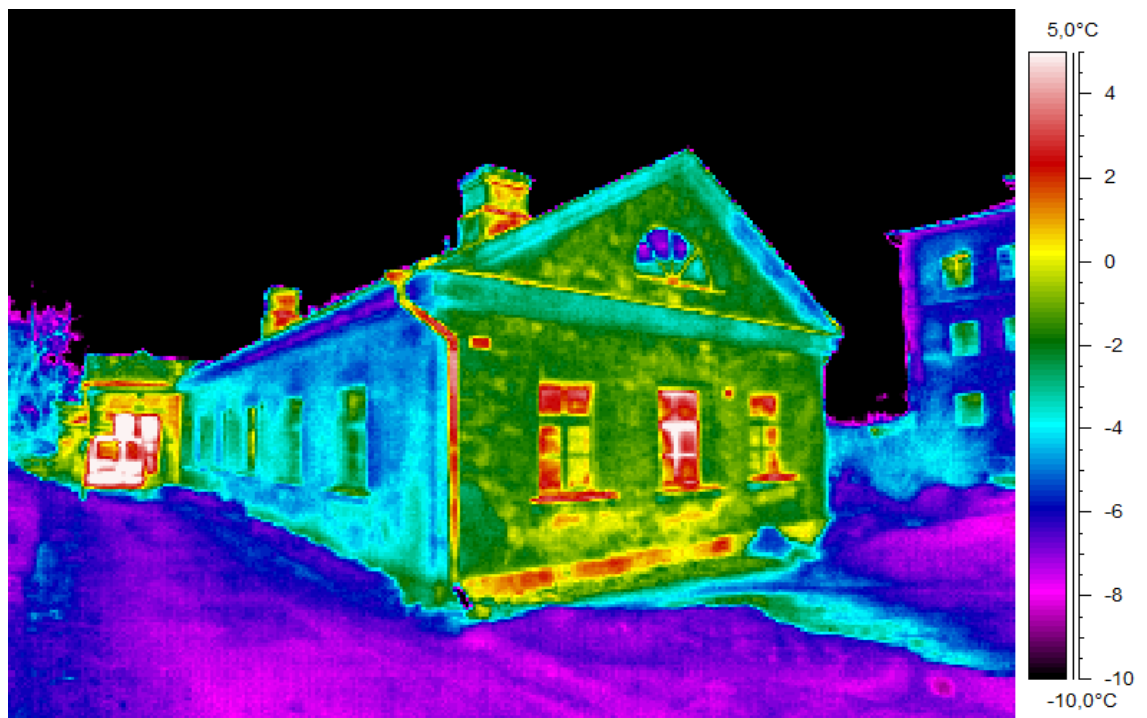
11.2 Rakennus C 49 (asunto B)

Asuinhuoneiston B lämpötila kuvaushetkellä oli 21,0 °C ja suhteellinen kosteus RH 18,3 %. Laskennallinen lämpötilaindeksin minimikriteeri (TI = 61 %) ylittyi pääsääntöisesti, vaikka lämpötila alittui ikkunoiden, ulko-oven ja korvausilmaventtiilien kohdalla (kriittinen lämpötilaraja 10,5 °C).

Ikkunoiden ja ulko-oven tiivistys olisi syytä tarkistaa (kuva 11). Rakennusta ulkopuolelta kuvattaessa havaittiin lämpövuotoa myös sokkelissa (kuva 12).



Kuva 11. Rakennus C 49 As B. Ikkunan ja oven lämpövuoto.



Kuva 12. Rakennus C 49. Lämpövuotoa sokkelissa ja ikkunoissa.

11.3 Aliupseeritalo C 58 (asunnot A 3, B 9, C 15 ja C 18 sekä rakennuksen julkisivut)

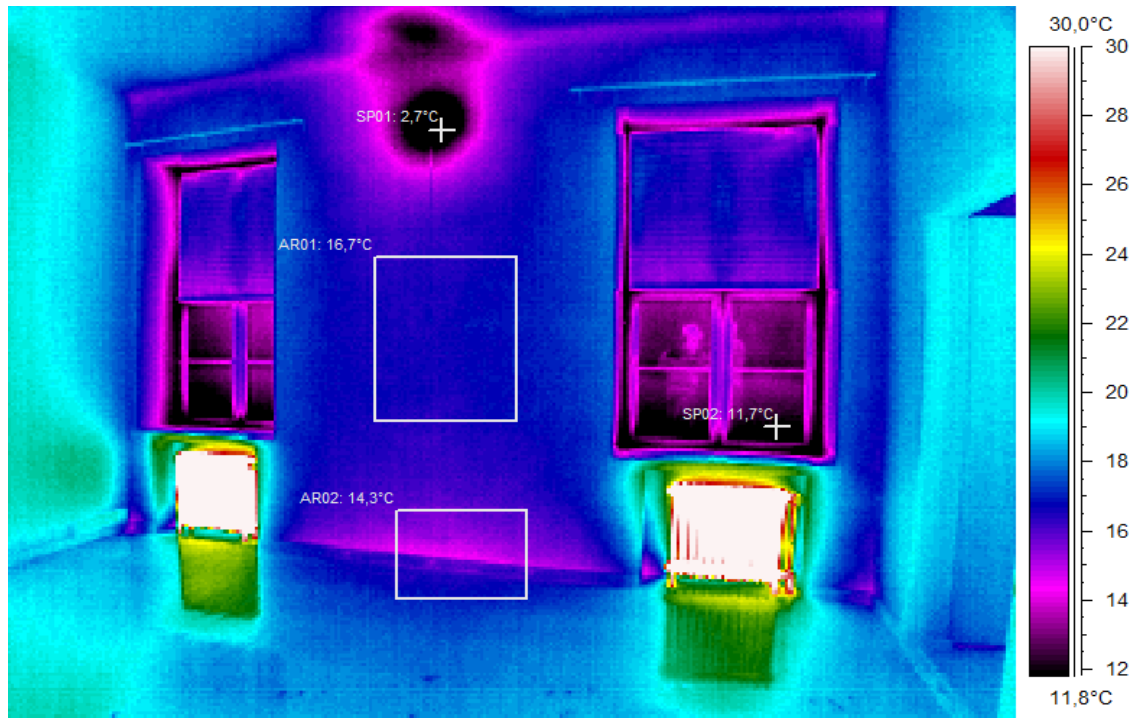
Asuinhuoneiston A 3 lämpötila kuvaushetkellä oli 19,9 °C ja suhteellinen kosteus RH 19 %. Alipainemittaus näytti 6 Pa:n alipainetta. Laskennallinen lämpötilaindeksin minimikriteeri (TI = 61 %) ylittyi pääsääntöisesti, vaikka lämpötila alittui korvausilmaventtiilin kohdalla (kriittinen lämpötilaraja 11,8 °C), (kuva 13).

Asuinhuoneiston B 9 lämpötila kuvaushetkellä oli 19,0 °C ja suhteellinen kosteus RH 23 %. Alipainemittaus näytti 8 Pa:n alipainetta. Laskennallinen lämpötilaindeksin minimikriteeri (TI = 61 %) ylittyi pääsääntöisesti, vaikka lämpötila alittui korvausilmaventtiilin kohdalla (kriittinen lämpötilaraja 11,2 °C), (kuva 14).

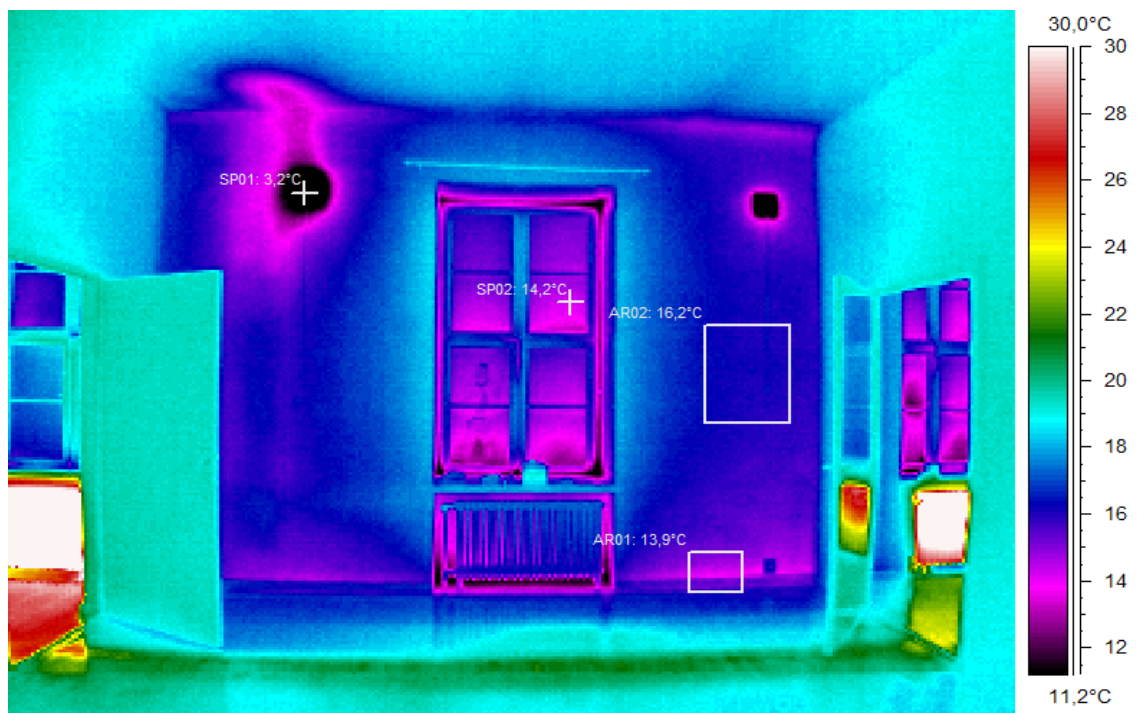
Asuinhuoneiston C 15 lämpötila kuvaushetkellä oli 21,1 °C ja suhteellinen kosteus RH 15,6 %. Alipainemittaus näytti 8 Pa:n alipainetta. Laskennallinen lämpötilaindeksin minimikriteeri (TI = 61 %) ylittyi pääsääntöisesti, vaikka lämpötila alittui korvausilmaventtiilien kohdalla (kriittinen lämpötilaraja 12,4 °C), (kuva 15).

Asuinhuoneiston C 18 lämpötila kuvaushetkellä oli 19,0 °C ja suhteellinen kosteus RH 20,0 %. Alipainemittaus näytti 5 Pa:n alipainetta. Laskennallinen lämpötilaindeksin minimikriteeri (TI = 61 %) ylittyi pääsääntöisesti, vaikka lämpötila alittui korvausilmaventtiilien kohdalla (kriittinen lämpötilaraja 11,2 °C), (kuva 16).

Aliupseeritalo C 58 lämpökuvattiin myös ulkopuolelta. Kuvissa näkyy selvästi lämpövuodot ikkunoista ja seinän läpi lämpöpattereiden kohdalta (kuva 17). Seinään asennettu lämpökaapeli näkyy lämpövuotona (kuva 18). Auringon säteilyn häiritsevä vaikutus kuvien tulkintaan näkyy lämpökuvassa rakennuksen eteläpäädyssä (kuva 19).



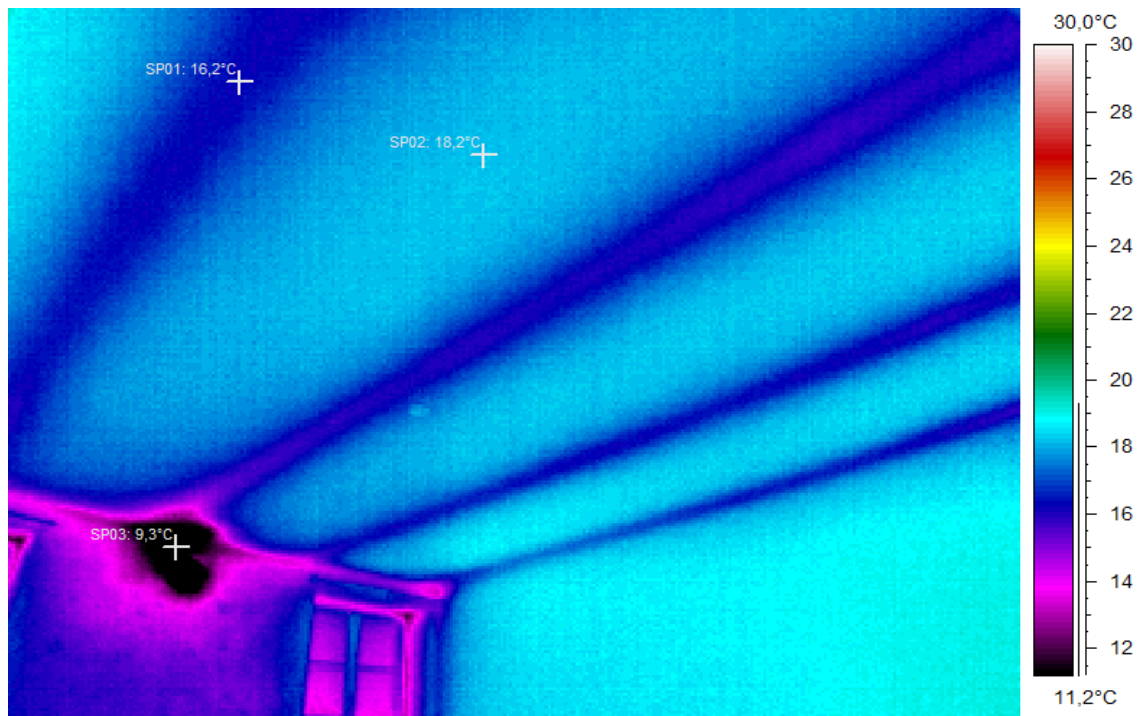
Kuva 13. Aliupseeritalo C 58 A 3. Ulkoseinä.



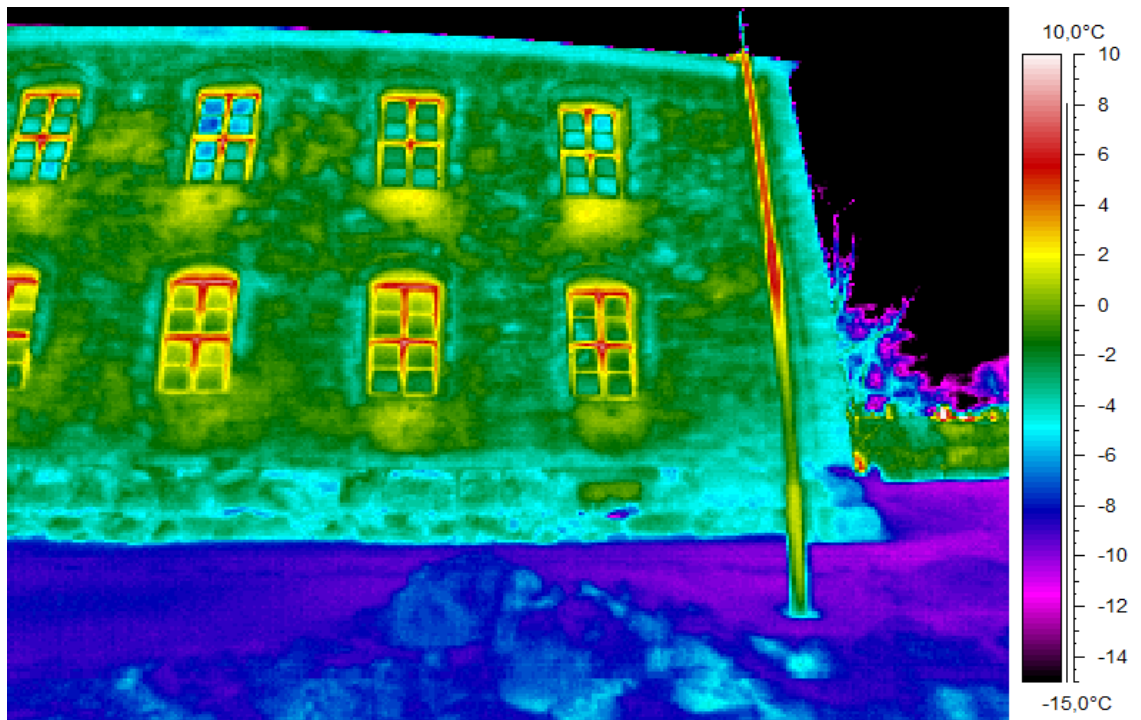
Kuva 14. Aliupseeritalo C 58 B 9. Ulkoseinä.



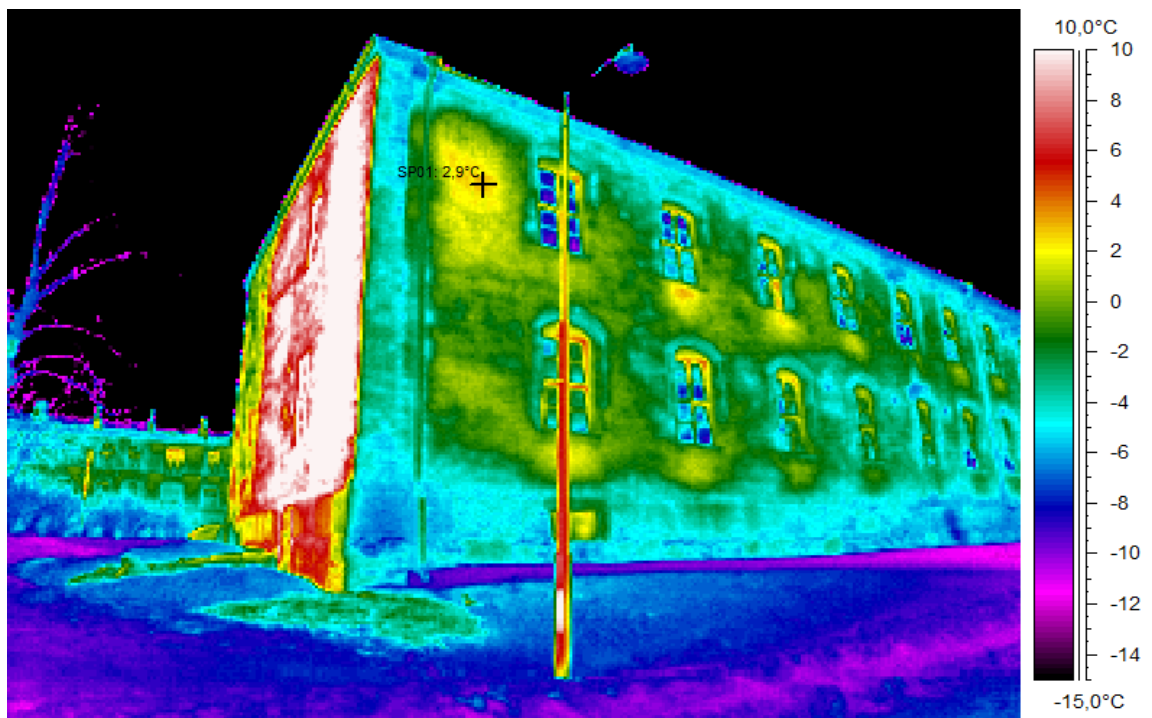
Kuva 15. Aliupseeritalo C 58 C 15. Ulkoseinä.



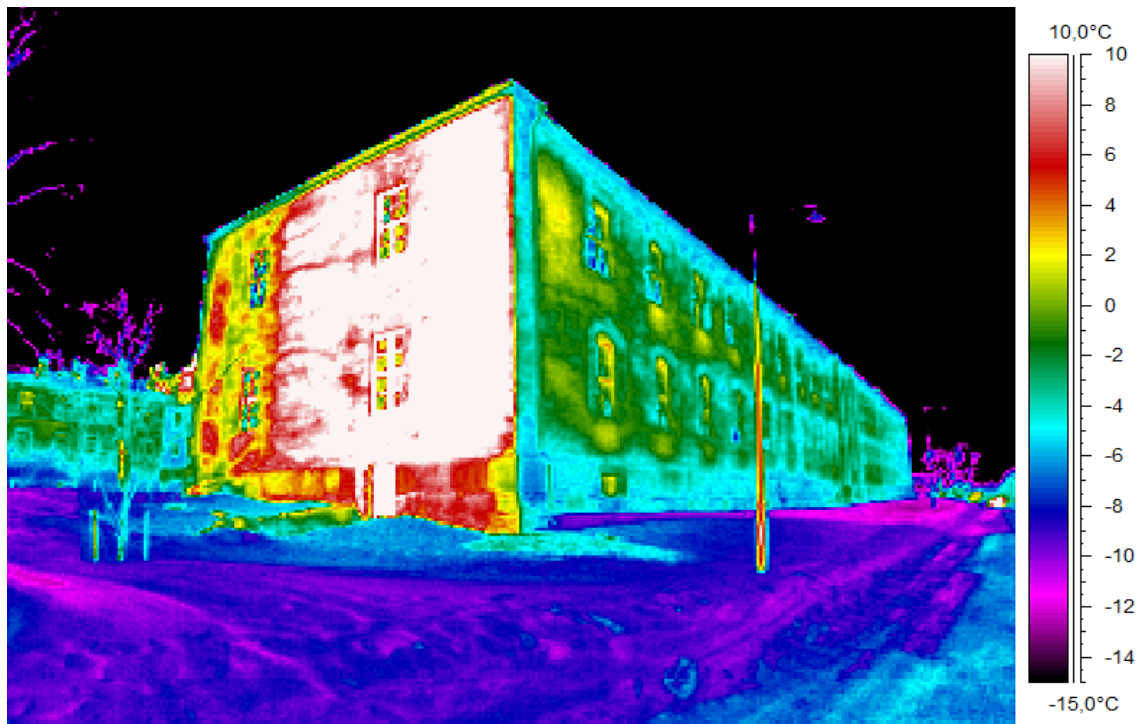
Kuva 16. Aliupseeritalo C 58 C 18. Yläpohjan palkisto erottuu hieman ympäristöön kylmempänä.



Kuva 17. Aliupseeritalo C 58. Lämpövuotoa ikkunoista ja lämpöpattereiden kohdalta.



Kuva 18. Aliupseeritalo C 58. Lämmityskaapeli seinässä näkyy ympäristöään lämpimämpänä.



Kuva 19. Aliupseeritalo C 58. Auringon säteilyn vaikutus näkyy rakennuksen eteläpuolen päädyssä.

12 Johtopäätökset

Lämpökuvaus on hyödyllinen aputyökalu Suomenlinnan restaurointityössä. Pyrittäessä lisäämään asuinviihtyvyyttä ja vähentämään rakennusvirheitä lämpökamera tuo hyvän lisän restauroinnin laadunhallinnassa ja kuntotutkimuksissa. Lämpökuvaus rakenteita rikkomattomana tutkimusmenetelmänä antaa mahdollisuuden analysoida suojeltuja ja arvokkaita rakennuskohteita niitä vaurioittamatta.

Asuinhuoneistojen kuntotarkastuksissa voidaan lämpökuvauksella nopeasti saada yleiskuva kohteen yleiskunnosta, kuten lämpöpattereiden ja ikkunatiivistysten toimivuudesta. Tähän tarkoitukseen riittää halvempikin kameramalli.

Kosteusvaurioiden ja esimerkiksi rappauspintojen vaurioiden tutkimus lämpökuvauksella olisi varmasti hyödyllistä Suomenlinnan restaurointitöissä tulevaisuudessa. Tässä opinnäytetyössä näihin aiheisiin ei käytännössä paneuduttu.

13 Yhteenveto

Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, kuinka lämpökuvausta voitaisiin hyödyntää Suomenlinnan rakennusten kunnossapidossa, restaurointitöissä ja yleensäkin korjausrakentamisessa. Käytännön tutkimuskohteina olivat lämpövuodot Suomenlinnan hoitokunnan hallinnoimissa asuinhuoneistoissa.

Opinnäytetyössä kerrottiin lämpökuvauksen periaatteista sekä lämpökameran ominaisuuksista. Teoriassa pohdittiin myös, miten lämpökuvausta voitaisiin hyödyntää rakennusten kosteusvaurioiden tutkimisessa ja esimerkiksi julkisivurappausten kunnan arvioinnissa.

Opinnäytetyöhön kuului käytännön esimerkkikohteina neljän eri asuinrakennuksen asuinhuoneistoja kahtena eri kuvauspäivänä ja kahdella erilaisella lämpökameralla. Opinnäytetyöhön liittyen tehtiin Suomenlinnan hoitokunnan omaan käyttöön lämpökuvausraportti 2. kuvauspäivän tuloksista.

Opinnäytetyötä ja lämpökuvausraporttia on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa Suomenlinnan rakennusten restaurointitöissä, kun aiotaan käyttää lämpökuvausta kohteiden kuntotutkimuksissa.

Lähteet

- [1] RT 14-10850 Ohjeet. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus, Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

- [2] Suomenlinnan merilinnoituksen viralliset sivut.
<http://www.suomenlinna.fi/>. Luettu 5.2.2012.

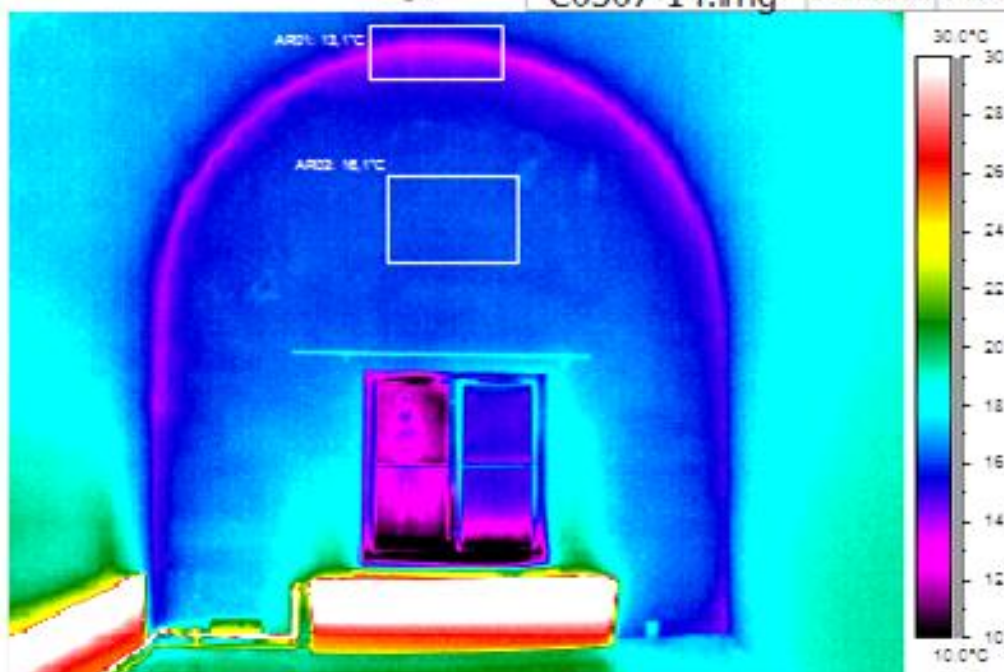
- [3] Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications.
http://documenten.kwx.eu/Documentatie/FLIR_Groene_Thermografie_Gids.pdf. Luettu 5.9.2012.

- [4] Paloniitty, Sauli - Kauppinen, Timo. 2011. Rakennusten lämpökuvaus. Porvoo: Bookwell Oy.

- [5] Suomenlinnan rakennusten historia. 1997. Museoviraston Rakennushistorian osaston julkaisuja 17. Gummerus Kirjapaino Oy.



Kuva 1	Aika	Päivämäärä
C0307-14.img	10:18:42	7.3.2012



Kuvauksen huomiot:

Ikkunan alueenossa ja -kuilmissa on hieman viileyttä ja ilmavuotoa.

Ikkunan tiivyyden ja kunnon tarkastusta suositellaan.

Ikkunarakenteen toteutuksessa on lämpöviivyyttä häiritseviä lämpötekniisiä puutteita ja kosteusvaurio on mahdollinen.

Aiheuttaa kylmän ilman valumista ja ilmavirtauksia.

Seinärakenteen toteutuksessa on hieman lämpöviivyyttä heikentäviä tekijöitä.

IR information	Value
Camera type	ThermaCA
Camera serial	15100068
Object parameter	Value
Emissivity	0,95
Label	Value
IR : max	45,4°C
IR : min	5,1°C
AR01 : max	16,0°C
AR01 : min	13,1°C
AR02 : max	16,4°C
AR02 : min	15,8°C

IR Text	Value
Kohde	Suomenlinna B 17 As 6
Kohta	02 makuuhuone
Tarkentavaa tietoa	Seinä, ikkuna, patteri
Vika / Puute	hieman viileyttä / ilmavuotoa
Korjasuluokka	3
Tilaaaja	Suomenlinnan hoitokunta
Kuvaaja	Raimo Autio
Ilmanvaihto	Painovoimainen

